

LOS EFECTOS DE LAS TECNOLOGIAS DE LA INFORMACION Y COMUNICACION SOBRE LA PRODUCCION NUEVOS SISTEMAS DE PRODUCCION

*María José Álvarez Gil**
Universidad Carlos III

Como señala Galbraith (1994, 17), el capitalismo industrial surgido a finales del siglo XVIII era, en gran medida, un sistema económico configurado a partir de las características de la tecnología instalada. Desde entonces, la búsqueda de la mecanización primero, y de la automatización de los procesos fabriles después, ha sido una constante que ha acompañado a las mejoras de productividad más destacadas y ha ejercido un notable impacto sobre el diseño de los procesos productivos. Generalmente, el proceso de automatización ha sido parcial y escalonado, esto es, ha ido concentrándose sucesivamente en equipos o en etapas concretas del proceso productivo, primando habitualmente la consecución de óptimos parciales sobre óptimos globales y propiciando, inintencionadamente, la aparición de sucesivos nuevos cuellos de botella, nuevas necesidades de recursos, problemas de inconsistencia

estratégica o dificultades en la integración de distintos tipos de automatización.

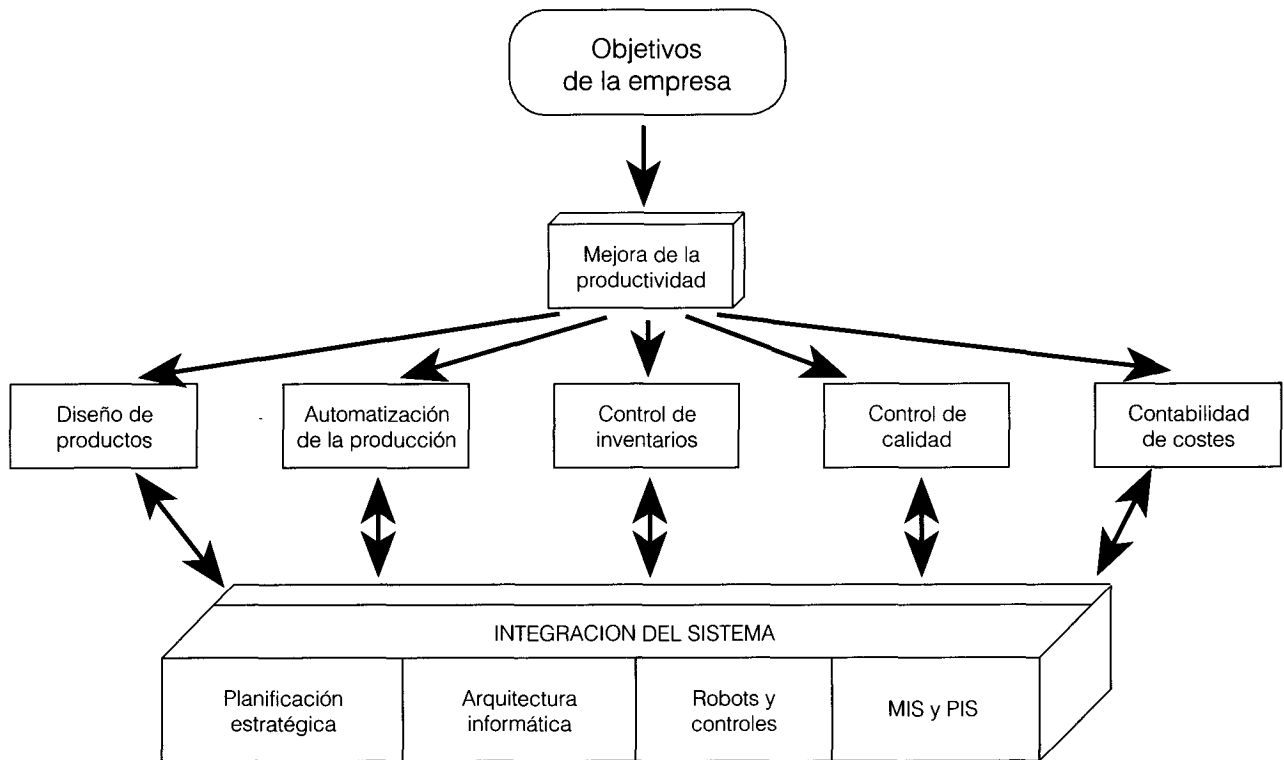
El tiempo no era entonces una prioridad competitiva para las empresas fabriles, por lo que los desajustes señalados iban siendo limados poco a poco hasta lograr una fluidez temporal en el funcionamiento del sistema productivo. La llegada de las tecnologías de la información y comunicación y su rápida difusión propició, por una parte, el diseño e implantación de equipos y sistemas de gestión de la información más sofisticados y eficientes y, por otra, facilitó la entrada de la variable tiempo en el conjunto de las bases competitivas de las empresas y, por tanto, de sus departamentos de operaciones.

Los nuevos equipos y sistemas se han utilizado, por lo general, como elementos informatizados *aislados*, con escasa o nula comunicación

entre sí en la mayoría de los casos, lo que ha favorecido la aparición y confluencia de problemas en la planta productiva y en el tratamiento de la información —se duplican datos básicos idénticos, falta precisión y actualización de los datos, se carece de una visión global clara, etcétera, provocando de este modo la elongación de los tiempos de proceso y la pérdida de productividad del sistema— y ha llevado a la obtención en distintos casos de unos resultados contrarios a los deseados.

Recientemente, se ha iniciado un proceso encaminado a la fusión e integración de las tecnologías de fabricación e información y comunicación; el objetivo es generar sistemas fabriles altamente productivos y flexibles, adecuados para operar en configuraciones productivas intermitentes (Hill, 1991, 160). La novedad de este proceso de consecución de la Automatización Integrada es que persigue la elimi-

FIGURA 1
ARQUITECTURA INFORMÁTICA DE LA EMPRESA MANUFACTURERA INTEGRADA



nación de las deficiencias de la automatización parcial o aislada mediante un concepto sistémico de tratamiento de la información y comunicación. Mediante una arquitectura informática adecuada (figura 1), se conectan programas modulares con acceso a una base de datos común, que pueden comunicarse en tiempo real a través de la información por retroalimentación de los datos de producción. Entre otros aspectos, la integración posibilita el control informatizado de la calidad y permite que los sistemas de información para la dirección (MIS) y para la fabricación (PIS) puedan desarrollar la recogida y tratamiento de la información para la toma de decisiones, sean éstas de índole productiva o de gestión de la empresa en su conjunto.

Esta integración de la automatización, que agiliza los flujos de

datos, comunicación y materiales en el seno de la planta productiva, da lugar a mejoras importantes, entre las que podemos citar la reducción de los niveles de inventarios de materias primas, productos en curso y productos terminados —con la consiguiente disminución de necesidades financieras— o los menores tiempos de proceso y de suministro y el superior rendimiento de equipos y programas de producción, los cuales trascienden más allá de los límites organizativos al acelerar la colocación de nuevos productos en el mercado, mejorar el tiempo y las condiciones de entrega de la mercancía, ofrecer niveles superiores y consistentes de calidad y un mejor servicio a clientes. La superior flexibilidad de los equipos (técnicos y humanos) y, consiguientemente, la mayor capacidad de respuesta de la entidad manufacturera conducen, en defi-

nitiva, a un aumento de la productividad de las empresas.

Estas ventajas no son desconocidas por las empresas españolas, las cuales, como recogen Martínez Sánchez (1993) y el informe de Andersen Consulting (1990), las han tenido bien presentes a la hora de revisar su automatización y comenzar a elevar el nivel de la integración de la mismas (figura 2).

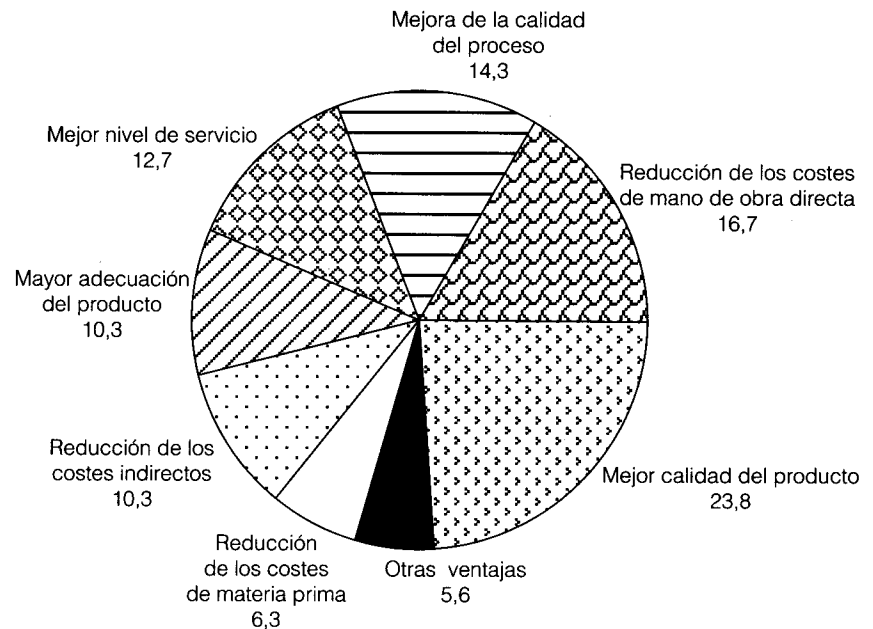
La automatización de la fabricación integrada informáticamente, más conocida por el acrónimo CIM, actúa como un puente que conecta «hardware», «software» e islas de automatización, de modo que se mantenga un flujo ininterrumpido de información, se eliminen las redundancias en la programación y recogida de datos y se cree y mantenga una base de datos común para toda la empresa, precisa y actualizada. No se

trata de un sistema de «software» y «hardware» de comunicaciones limitado al ámbito controlado por la Función de Operaciones, puesto que, en realidad, aunque el diseño e instalación del concepto CIM se sustenta en una revisión cuidadosa y detallada del sistema productivo, desde ésta se aspira a contribuir eficaz y eficientemente a la consecución de los objetivos del sistema empresarial en su conjunto (Mize y Palmer, 1989).

De acuerdo con estos principios, CIM puede ser descrita como *una filosofía de Gestión en la que las funciones de diseño y fabricación automatizadas se racionalizan y coordinan mediante las tecnologías informática, de comunicación y de información* (Bedworth y otros, 1991; 600). Este tipo de automatización suele suponer una gran inversión en activos productivos, con el consiguiente incremento de los costes fijos; también puede conducir a un aumento de los costes de mantenimiento y, en algunas ocasiones, a una disminución de la flexibilidad de los recursos. Ahora bien, en el caso de que la repetitividad de las operaciones sea lo suficientemente alta, sus beneficios pueden compensar suficientemente los inconvenientes mencionados (Krajewski y Ritzman, 1990, 164).

La decisión estratégica de abrazar la causa de la automatización integrada de la fábrica está sometida a diversos riesgos; entre ellos puede citarse el *financiero*, pues se desconoce *a priori* si la rentabilidad obtenida permitirá hacer frente a la fuerte inversión demandada por la automatización integrada; el *económico*, ya que parte de los costes y beneficios es desconocida de antemano y tampoco se conoce con certeza cuándo será posible lograr el estado estacionario del sistema y se sobrepasará el punto muerto; o el riesgo *estratégico*, pues no es posible predeterminar con antelación si el sistema será capaz de generar en cualquier estado de la naturaleza

FIGURA 2
VENTAJAS PERSEGUIDAS POR LAS EMPRESAS ESPAÑOLAS QUE HAN INSTALADO NUEVAS TECNOLOGÍAS DE FABRICACIÓN



(*) MARTINEZ (1993) y ANDERSEN CONSULTING (1990).

el «mix» de productos adecuados, en el tiempo, coste y nivel de calidad requeridos por el nicho competitivo de la empresa.

Una parte importante de estos riesgos puede ser atribuida en primer lugar a las *dificultades técnicas* para la integración de equipos de diversos proveedores y, en segundo lugar, a la complejidad inherente a la necesaria *transformación de la estructura organizativa* para acoger la automatización integrada. Estos obstáculos no son ni los únicos ni, quizás, los más importantes; en nuestra opinión, puede ser posible establecer una relación directa entre la concurrencia de estos riesgos y el *desconocimiento* que existe en torno a *las posibilidades* que brindan las nuevas tecnologías de información y comunicación en el ámbito empresarial.

Este desconocimiento abarca, al menos, cuatro facetas básicas, como son las *posibilidades y limi-*

taciones técnicas de las nuevas tecnologías; la naturaleza de los cambios organizativos que deben acompañar al proceso de diseño de la instalación del sistema; aquellas acciones propias de la Función de Operaciones que han de producirse en consonancia con el proceso de cambio; y la estructura y volumen de los costes de fabricación (1) derivados de la utilización de las mismas. Esta falta de información ha ejercido un impacto destacado sobre la limitada difusión de la automatización integrada, por una parte, y en el relativamente alto número de fracasos en la adopción de la misma, por otra. Entre éstos y a modo de ejemplo puede citarse la sucesiva creación de islas de automatización, menos onerosas en el corto plazo, pero considerablemente costosas en un enfoque global del proceso productivo.

El presente trabajo pretende intentar contribuir a eliminar las carencias mencionadas, para lo cual

nos centraremos en primer lugar en la delimitación de las condiciones organizativas previas necesarias para una adecuada instalación y puesta en marcha de la automatización integrada; seguidamente, realizaremos una caracterización breve y lo más precisa posible de las posibilidades de las nuevas tecnologías de la información y comunicación en el ámbito de la automatización integrada de la fabricación, para abordar a continuación el proceso de integración de las tecnologías en el entorno fabril.

CIM: DISEÑO, CONDICIONES Y PUESTA EN MARCHA

Siguiendo a Bessant (1991, 147), podemos decir que el diseño de un sistema de fabricación automatizado e integrado eficiente exige el desarrollo secuencial de las actividades de enfoque estratégico, integración y simplificación y automatización. A continuación, nos detenemos a considerar cada una de estas actividades.

Análisis estratégico

Toda empresa que estudia la opción de la automatización integrada informáticamente debe comenzar por desarrollar un *análisis estratégico* previo. Mediante éste se busca identificar las actuaciones emprendidas por el sector y las tecnologías empleadas en éste, lo que permitirá conocer las oportunidades y amenazas externas y facilitará la aparición de un cierto efecto aprendizaje en la industria. A continuación, se procede a caracterizar las posibles deficiencias internas de la empresa, buscando definir las auténticas necesidades de la empresa para determinar si las mejoras buscadas pueden alcanzarse ajustando el sistema actual o si, por el contrario, será conveniente abordar una modificación sustancial del mismo. La solución o soluciones detectadas deben ser examina-

das a la luz de los planes estratégicos de la firma o de nuevos planes estratégicos factibles.

Los dos pasos anteriores proporcionan la información que los decisores necesitan para delimitar los planes de automatización que incluyan las tecnologías estrictamente necesarias para emprender el camino hacia el logro de los objetivos empresariales y del Subsistema de Operaciones. Esta última etapa es de importancia capital, en cuanto que contribuye a minimizar los costes y riesgos del proceso de automatización integrada (2).

Estudio del proceso de integración

La *integración* de equipos, flujos de materiales, datos y personas, es un proceso complejo que no debe abordarse a la ligera. Es preciso comenzar caracterizando la *arquitectura* de la misma, esto es, las relaciones jerárquicas, la dirección de las mismas, los códigos a emplear, etcétera —para definir las características que rodearán la instalación del sistema, tales como el proceso productivo, las herramientas y sus parámetros, el escenario de operaciones— y los requisitos del sistema de información para la comunicación y el control (3). La selección de la arquitectura ha de ser consciente del carácter amplificador de la integración, esto es, su potencial para fortalecer los puntos fuertes de la actividad empresarial, pero también para debilitar los aspectos menos atendidos, en virtud de lo cual es absolutamente imprescindible buscar la *simplificación de las operaciones de la compañía*.

No debe olvidarse tampoco la importancia de la actuación progresiva, en la medida en que ésta favorece la eliminación de problemas (humanos y técnicos) durante la integración, fomenta el aprendizaje y reduce los riesgos económico y financiero del conjunto de inversiones a efectuar.

Estudio de las posibilidades de simplificación

La caracterización estratégica y el diseño del proceso de integración, que aportan el «esqueleto» de lo que será la inversión a efectuar por la empresa, han de ser completados y detallados con las adquisiciones concretas de equipos automatizados y sistemas de información y comunicación. Estas suelen dar lugar a un elevado desembolso de fondos que puede comprometer el margen de maniobra de la empresa, por lo que previamente debería delimitarse con exactitud la financiación mínima requerida y la cantidad máxima disponible. La cuantía de la primera puede ser reducida sustancialmente mediante la adopción de medidas encaminadas a la *simplificación de la tecnología de proceso*, es decir, analizando la posibilidad de eliminar operaciones, pasos e incluso procesos completos, la aceleración de los lanzamientos o la reducción de los tiempos de preparación y cambio de máquinas, etcétera.

Estas medidas comprenden las actividades relacionadas con la «pre automatización» (Schonberger y Knod, 1991, 99-105), entre las que se incluyen la búsqueda de proximidad entre los productos en curso y los equipos encargados de su transformación, o la precisión en la ubicación de equipos y los bienes en proceso, así como las labores de automatización débil, entre las que podemos citar a título de ejemplo la inserción de mecanismos para la parada y arranque de máquinas, la instalación de intercambiadores automáticos de herramientas en equipos convencionales, etcétera; todas ellas permiten, a un reducido coste, mejorar las características del proceso y, si ello fuera necesario, acomodarlo para una automatización posterior.

Análisis de la automatización

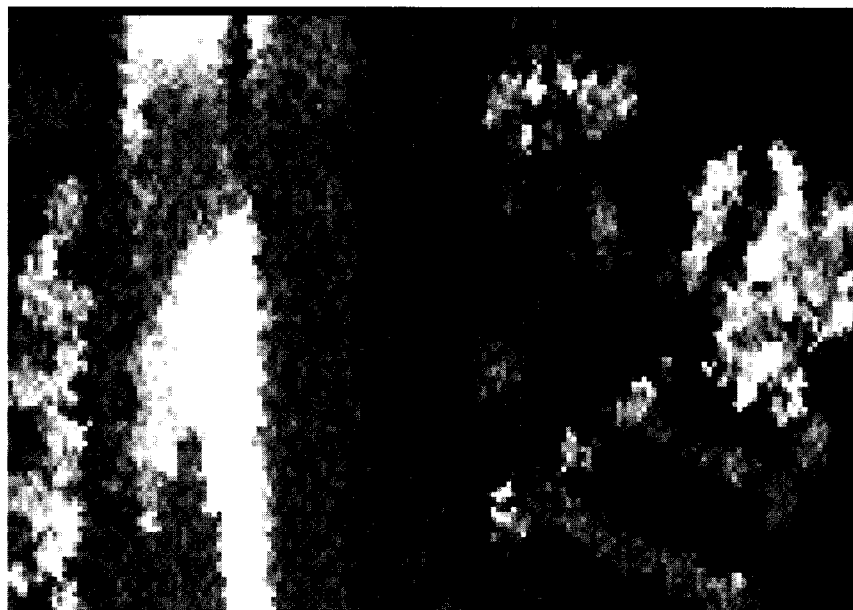
La decisión última sobre las tecnologías automatizadas de proceso

a instalar dependerá directamente del tipo de configuración productiva existente o que se desee alcanzar. En el caso de entornos productivos intermitentes, en los que la amplitud de la gama de productos suele ser elevada y el volumen de producción es bajo, la automatización sólo será rentable cuando se consiga lograr una cierta *repetitividad* de las operaciones que asegure el máximo aprovechamiento posible de los equipos. Entre las diferentes opciones posibles para alcanzarla destacan la *fabricación modular* y la aplicación de los principios de la *Tecnología de Grupo*.

La fabricación modular consiste, esencialmente, en buscar la especialización en la producción de ciertas piezas, que puedan ser combinadas en el máximo número de formas para ofrecer el mayor número posible de productos o servicios.

Una descripción rápida de la Tecnología de Grupos nos permitiría caracterizar a ésta como un enfoque que busca la formación de «familias» de productos con requisitos similares de fabricación, con el objetivo de minimizar cambios de máquinas y lanzamientos. Los grupos de máquinas necesarias para la elaboración de cada familia se organizan en «células», que son pequeñas líneas de fabricación o montaje; las máquinas de cada célula pueden ser reajustadas para adaptarse a las necesidades de los diferentes lotes de cada familia. La simplificación de las rutas de fabricación conduce a una reducción del tiempo que cada lote de pedido pasa en el taller y a una disminución sensible de la longitud de las colas de artículos en espera a ser procesados. La existencia de diferentes células permite combinar los beneficios del volumen y de la variedad (economías de escala y de alcance).

Además, facilita y agiliza el diseño de nuevos productos, pues se



pueden aprovechar elementos de otros ya existentes, eliminando la necesidad de reelaborar totalmente el plan de producción y acortar los tiempos de cambio y preparación de máquinas, ya que todos los artículos de una misma familia se procesan en los mismos equipos, siguiendo la misma secuencia principal.

No obstante, no siempre es posible acudir a la Tecnología de Grupos (4): dado que el sistema de clasificación y codificación suele ser muy costoso y lento y que, por otra parte, puede ser necesario efectuar una redistribución en planta o no conseguir la máxima utilización de la capacidad de las células, ha de contarse con una excelente comunicación entre los responsables de diseño y fabricación de un producto.

La aplicación de la fabricación modular y la de la Tecnología de Grupos sientan las bases de partida para lograr los máximos beneficios de la instalación de la *automatización flexible*, esto es, equipos que pueden ser reprogramados automáticamente de modo que puedan elaborar diferentes productos, por lo que son útiles tanto en configuraciones conti-

nuas como intermitentes: en el primer caso, cuando se reduce la demanda de un determinado artículo, las máquinas pueden ser reconfiguradas para atender a la fabricación de otro, manteniéndose un nivel adecuado de utilización de los equipos; en el segundo, los cambios de operaciones entre los lotes de productos son simples, pues basta con cambiar los programas que dirigen la actuación de los equipos. Así pues, la automatización flexible permite la obtención de las denominadas economías de gama o alcance, características de los entornos de alta flexibilidad y una intensidad de capital intermedia.

ELEMENTOS DE UN SISTEMA CIM

Como ya se ha señalado, la automatización integrada por ordenador ha de abordarse modular y progresivamente, buscando la mayor obtención posible de sinergias y efectos de aprendizaje a lo largo del proceso de diseño e instalación y de puesta en marcha. Cada uno de los módulos se encargará de unas actividades concretas y el mayor éxito parcial se logrará cuando se alcance el

éxito global; con ello estamos aludiendo a la necesidad de abordar simultáneamente el diseño de productos y procesos, a la fluidez de la comunicación entre la planificación y control de la producción, la ingeniería de productos y procesos y el sistema de almacenes, etcétera.

El estudio de cada uno de los módulos o elementos que integran un sistema CIM puede abordarse de diferentes maneras, habiéndose optado a los efectos de esta exposición por seguir un orden similar al proceso de toma de decisiones en el ámbito de la Función de Operaciones; esto es, nos referiremos primero al producto que se quiere fabricar, seguiremos con el proceso de elaboración y, a continuación, nos detendremos a considerar el proceso de planificación de la producción. Estas decisiones básicas dan lugar a un conjunto de actuaciones de apoyo, relacionadas con el aprovisionamiento, el control de inventarios, selección de equipos a emplear y asignación de tareas a éstos, cálculo, seguimiento y control de tiempos, calidades y costes, medida del rendimiento del proceso, etcétera.

Automatización de la ingeniería de diseño y de procesos

La denominación genérica del módulo encargado de los productos y procesos, esto es, de aquél encargado del QUE y COMO fabricar, es la de ingeniería de productos y procesos por ordenador, y abarca desde el análisis del diseño inicial de un producto hasta la concepción de su proceso de fabricación e incluye, por tanto, el diseño e ingeniería informatizados de los productos.

El diseño asistido por ordenador (CAD) es una aplicación informática para la creación de nuevos productos y, en determinados casos, la modificación de los existentes; permite la elaboración de gráficos

sobre productos, sus componentes, herramientas, etcétera, los cuales pueden ser representados en tres dimensiones, cortarse en secciones, rotarse sobre los ejes, etcétera, ofreciendo una idea a los responsables de proceso, proveedores y clientes, de las características del producto y de las condiciones adecuadas para su elaboración, facilitando así la incorporación de sugerencias con anterioridad a la fabricación industrial del artículo y acelerando de este modo la introducción del producto en el mercado.

También es posible simular reacciones, comportamiento, etcétera, de cada producto mediante la ingeniería asistida por ordenador (CAE), que permite el análisis informatizado de rasgos como la mecánica y estructura del producto, sus aspectos térmicos y magnéticos, la fluidodinámica, cinética y dinámica, etcétera, y que servirán para desarrollar posteriormente la planificación del proceso de transformación (aplicación CAPP) y la programación de los equipos de Control Numérico.

El resultado del empleo de estos sistemas es un conjunto de datos sobre la fisonomía de las piezas, materiales a emplear, condiciones óptimas para su elaboración y uso..., información que se sintetizará en documentos como planos, listas de materiales, hojas de ruta, documentos de producción, etcétera, y se almacenará en una base de datos para su uso posterior de elevada accesibilidad y precisión. La mayor y mejor información que se reúne para cada artículo contribuye a eliminar las sobreespecificaciones que en torno a éstos han acompañado normalmente la modelización, construcción de prototipos, necesidades de componentes, materiales y otros.

Así pues, mediante un software apropiado para el diseño y análisis de ingeniería se pueden lograr reducciones significativas en los costes y tiempos del proceso de

diseño mediante la simulación *a priori* de factores tan importantes como la forma, ajustes, funcionalidad, que serán parámetros estimados mediante cálculos simultáneos de sensibilidad ante fuerzas, presiones, peso, volumen de materiales, etcétera (Hill, 1991, 156). Funciones como el diseño de herramientas, la planificación de la calidad o el aprovisionamiento toman estos datos como punto de partida para el desarrollo de planes y la redacción de instrucciones sobre las operaciones a realizar en los talleres.

Podemos señalar, por tanto, que las ventajas más importantes de esta automatización integrada están relacionadas con *mejoras en costes y reducción del tiempo de respuesta*, derivadas de la mayor flexibilidad en el diseño de productos y de las modificaciones de éstos, el mejor acceso a diseños, la mejora de la calidad de los productos asociada a la posibilidad de efectuar simulaciones y el menor tiempo de proceso, resultado del diseño de mejores moldes y herramientas y de la especificación inicial de los estándares de calidad del producto.

El sistema CAM (fabricación asistida por ordenador) es el responsable de hacer llegar a los equipos, vía ordenador —y partiendo de los datos generados por CAD y CAE—, instrucciones sobre las operaciones a ejecutar en los diferentes momentos del tiempo, así como de recoger información sobre la marcha de tales operaciones, a fin de efectuar el seguimiento y control del proceso en los talleres y de alimentar y reforzar las actividades de planificación y control de la producción.

El control puede ser *indirecto* y en este caso el sistema CAM actúa como un sistema de comunicación, o *directo*, en cuyo caso los equipos operan bajo el control de sus propios ordenadores, que son capaces de reconocer la información que las máquinas recogen a

través de sus sensores, lectores *ad-hoc*, etcétera, procesarla para actuar y enviarla al ordenador central para que éste la reprocese y envíe nuevas instrucciones si fuese preciso. Los programas de ordenador que contienen las instrucciones se pueden almacenar en la base de datos de fabricación, lo que permite su recuperación posterior, su modificación y actualización... La información que el sistema CAM necesita para poder dar órdenes a los distintos equipos es de tipo geométrico y tecnológico (Juan y otros, 1991; 37), incluyendo dimensiones, forma, tolerancia y acabado de cada pieza, así como las dimensiones y desplazamientos de las herramientas que se emplearán en su ejecución..., por una parte, mientras que, por otra, ha de aludirse a las velocidades características de cada operación, material a emplear, forma de seleccionar la herramienta...

En cuanto a la información que el sistema recibe desde los equipos, ésta permite desarrollar con mayor eficiencia y precisión tareas tales como la actualización de estado de inventarios (en conexión con un sistema inteligente de almacenes), cálculo de desechos, en conexión con los sistemas de control de calidad, etcétera. La alta fiabilidad de los sensores de los equipos y del sistema de interpretación y comunicación de datos «on-line» proporciona una mayor consistencia de los productos y un importante ahorro de tiempo.

Para que el sistema CAM pueda interpretar correctamente los datos generados por los sistemas CAD y CAE es preciso acudir a un intérprete, el sistema CAPP, encargado de la *planificación de procesos asistida por ordenador*, que se responsabiliza del desarrollo detenido de un plan de proceso y hoja de ruta en los que se indican el momento y la naturaleza de las operaciones a desarrollar por las distintas máquinas que inter-



vendrán en la elaboración del producto (5). Cuando los equipos recogen información sobre la marcha del proceso, se carga nuevamente la base de datos del sistema CAM, que habrá de ser nuevamente traducida a fin de actualizar, si fuera necesario, los datos de CAD y CAE.

Lo ideal sería no tener que recurrir a este intérprete, esto es, que los datos y conceptos empleados y generados por los sistemas CAD, CAE y CAM vinieran expresados en el mismo lenguaje. Esta integración puede lograrse mediante el uso de la aplicación informática conocida como CAD/CAM; este sistema integrado vincula a los distintos ordenadores empleados, de forma que sus funciones están alimentadas por una base de datos común en la que se recogen elementos como el rendimiento de los equipos, los tests de piezas, las instrucciones a máquinas, estado de inventarios, planificación y control de producción y de procesos, estado de las operaciones de montaje, envíos, cálculo de costes, etcétera.

Un módulo de estas características permite la consideración simultánea de los datos de diseño

y proceso de un producto, posibilitando que cuando se concibe un nuevo artículo se tengan en cuenta las fases de su proceso, necesidades de capacidad, características de las herramientas necesarias y disponibles, peculiaridades del montaje, etcétera. Estas posibles ventajas no son gratuitas: el grado de automatización e integración alcanzable hace necesaria la presencia humana, que se responsabilizará de la calidad y adecuación de los programas en uso.

Automatización de los talleres

Siguiendo la línea que nos hemos marcado, el paso siguiente será la caracterización de los equipos a utilizar para fabricar los productos. Como resultado de la etapa anterior ya se cuenta con información sobre cómo elaborarlos, aspecto que, en gran medida, condiciona la selección de los equipos productivos a emplear (6). Nuestra exposición, necesariamente sucinta, se ordena en función de la complejidad creciente del *hardware*, lo que permite distinguir entre «elementos directos» y «sistemas integrados». Entre los primeros pueden incluirse los robots, las máquinas-herramientas en sus

distintas versiones y los sistemas para la manipulación y transporte de los materiales. Dentro de los segundos nos referiremos a los sistemas flexibles de fabricación y de montaje.

Un robot puede ser definido, a grandes rasgos, como una máquina mecánica programable configurada para realizar un conjunto determinado de movimientos, que pueden modificarse cuando sea necesario, dotándolo de una flexibilidad superior a la de cualquier equipo «rígido» convencional. Su coste dependerá de aspectos tales como el tamaño, las aplicaciones, modificaciones que hayan de desarrollarse en el taller o en el diseño para su empleo, fiabilidad y rendimiento, etcétera. Entre sus beneficios suelen citarse la calidad consistente en el desempeño de su actividad, los menores desperdicios de materiales y los posibles ahorros en mano de obra (Schoenberger y Knod, 1991, 108).

Por lo que respecta a las máquinas herramientas, éstas constituyen la modalidad de automatización flexible más utilizada para fabricar lotes de pequeño y medio tamaño de piezas de formas complicadas, siendo posible diferenciar tres tipos: las de control numérico (NC), las de control numérico informatizado (CNC) y las de control numérico distribuido (DNC). El funcionamiento de una máquina de control numérico está dirigido y controlado por programas de «software» suministrados en cintas magnéticas, en los que se incluyan instrucciones sobre tareas, velocidades y variables de control adaptativo sobre temperatura, vibración, desgaste de las piezas de corte, etcétera. Pueden encontrarse aisladas, en cuyo caso se las denomina *módulos*, o interconectadas por medio de algún sistema automático de transporte y manipulación de materiales y productos en curso, denominándoseles entonces *células de fabricación*. En algunas ocasiones las células

están robotizadas, adoptando distintas configuraciones en función de la movilidad del robot.

Las máquinas de control numérico equipadas con un ordenador se denominan de control numérico computerizado. La informatización permite disminuir sensiblemente los problemas de tiempo de transmisión de datos, deterioro de las cintas y rigidez ante cambios de ingeniería. Son equipos más rápidos porque cuentan con sistemas para el desarrollo de programas de operaciones en tiempo real y «on-line», de manera que los cambios de ingeniería son rápidamente interpretados por los ordenadores y traducidos a nuevas instrucciones. La unión de varias máquinas NC o CNC a un mismo ordenador central, que distribuye entre éstas los programas, da lugar a lo que se conoce como máquinas de control numérico distribuido (DNC); estos ordenadores centrales se encargan de buscar el ajuste necesario entre los planes de proceso y los programas de producción. Entre las ventajas de las máquinas herramientas informatizadas, podemos señalar su alta flexibilidad ante cambios en tareas, programas de producción y en los planes de proceso, la reducción en las necesidades de mano de obra e inventarios a que dan lugar y la disminución de los tiempos de lanzamiento y de proceso.

Es cada vez más frecuente encontrar en las fábricas automatizadas e integradas sistemas «inteligentes» responsabilizados de la manipulación, transporte y almacenaje de materiales, que trabajan conjuntamente con los equipos que operan directamente sobre los productos en curso. Estos sistemas contribuyen a la eliminación de costes que no añaden ningún valor al producto, pero, dado su elevado coste, su adquisición sólo es recomendable cuando se ha conseguido alcanzar un cierto volumen de fabricación de cada uno de los productos ofrecidos por la empresa. Entre ellos se encuentran los denominados siste-

mas inteligentes de almacenes (AS/RSs) y los vehículos guiados por control remoto (AGVs). Los primeros constan de un sistema automatizado que controla la carga y descarga de materiales, que puede proporcionar información sobre inventarios, rotación de existencias, ubicación de las mismas, etcétera. En cuanto a los segundos, éstos reciben las instrucciones sobre recorridos a efectuar, paradas, etcétera, desde un ordenador central o periférico. Su elevada movilidad ayuda a impedir que se produzcan paradas costosas y, en ocasiones, impredecibles; facilitan el suministro de componentes y materiales justo a tiempo, reduciendo las necesidades de inventarios intermedios; además, su rapidez y precisión facilitan que el transporte de pequeños lotes resulte económico. En ocasiones, son utilizados como mesas de trabajo y suelen emplearse dentro del ámbito de las células de trabajo, células robotizadas, sistemas de fabricación flexible o en los sistemas inteligentes de almacenes.

Cuando los elementos anteriores (robots, máquinas herramientas y sistemas AS/RSs y AGVs) se integran, dando lugar a *un conjunto de varios centros o estaciones de trabajo conectadas con un sistema automatizado de manipulación de materiales mediante un ordenador central*, podemos decir que nos encontramos ante un sistema flexible de fabricación (FMS) (Parrish, 1993, 16). El objetivo de tal agrupación es lograr una sintonización de las operaciones que conduzca a la optimización de las actividades del sistema: la flexibilidad de las máquinas-herramientas y robots es utilizada para efectuar cambios rápidos de utillaje y ejecutar tareas diversas en respuesta a programas de producción que cambian en brevísimos períodos de tiempo.

Adicionalmente, como una operación puede ser ejecutada en distintas máquinas, el sistema únicamente se detendrá o retrasará en

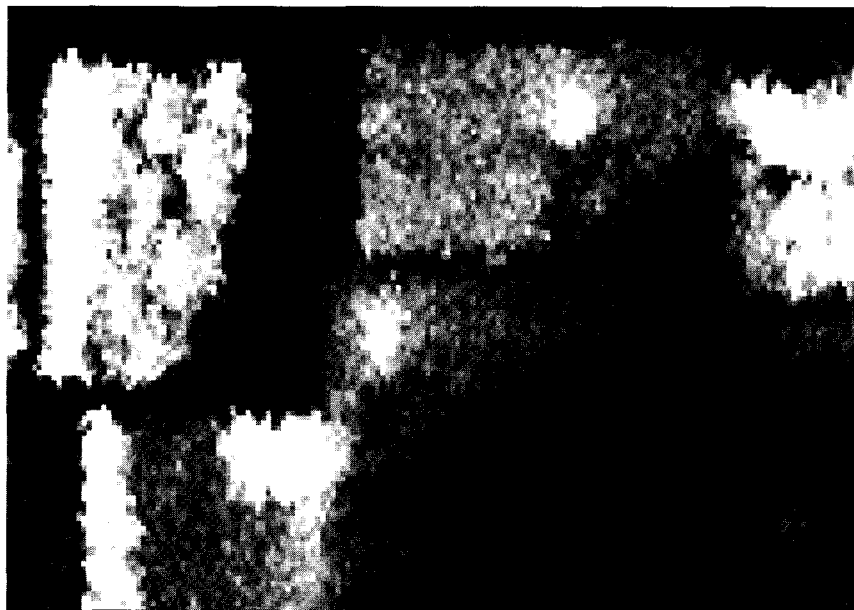
condiciones excepcionales. Las instrucciones emitidas por el ordenador central, que llegan a todos los elementos del sistema, están basadas en la información facilitada por el programa maestro de producción y el módulo MRP, a los que nos referiremos más adelante.

Entre sus ventajas podemos citar las importantes reducciones que pueden lograrse en el nivel de inventarios y la disminución del alcance y de la complejidad de la función de control (pues buena parte de las operaciones se desarrolla dentro del sistema). Como inconvenientes podemos citar su coste y complejidad: lo niveles de utilización han de ser adecuados, y también la infraestructura fabril. Según Voss (1989, 137), la utilización de estos sistemas es conveniente cuando se va a fabricar una limitada variedad de productos que admitan el rediseño, pues deben compartir la familia de piezas que se puede producir con el FMS, el número de piezas diferentes debe encontrarse entre 10 y 50, fabricándose entre 5.000 y 30.000 unidades de cada una. La instalación es larga, por lo que muchas empresas la descartan. Es normal, en esos casos, comenzar con máquinas CNC, comprar posteriormente vehículos de control remoto y, por último, instalar la arquitectura informática (7).

En ocasiones las empresas no se encargan del proceso completo de elaboración de un producto, sino que se concentran en el montaje de una parte o de la totalidad de los componentes. En estos casos, se puede acudir al uso de los sistemas flexibles de montaje (FAS). Hoy por hoy, su difusión es muy inferior a la de los FMSs.

Automatización de la planificación y programación de la producción

Este módulo comprende el conjunto de sistemas encargados de la elaboración del plan y del programa maestro de producción, ges-



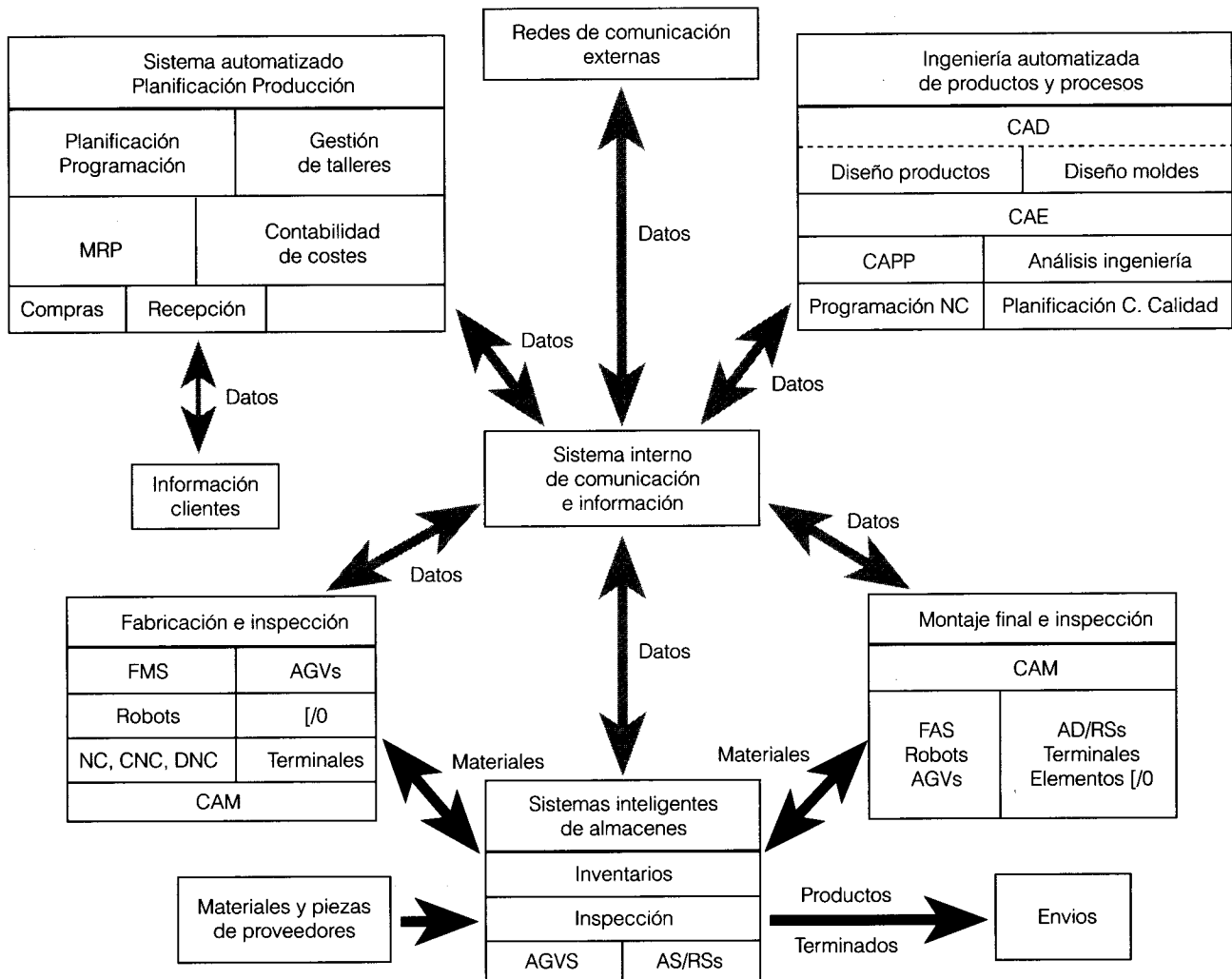
tión de la capacidad, planificación de las necesidades de materiales (aplicación informática MRP) y la programación y secuencia de actividades; adicionalmente, y puesto que uno de los objetivos de la Función de Operaciones es la eficiencia en costes, suele incorporarse un módulo de contabilidad de costes. Es posible emplear una aplicación informática que integra todos los sistemas anteriores, cual es el sistema MRP II (planificación de los recursos de fabricación).

El funcionamiento de esta área o módulo está regido por las estimaciones de demanda, que son las que indicarán los volúmenes de producción a conseguir y, por tanto, las necesidades de los distintos recursos a emplear; junto a la información anterior, es preciso atender a la facilitada por la ingeniería de productos y procesos relativa a las listas de materiales y hojas de ruta de los distintos productos, los datos provenientes de almacenes indicativos de los estados de inventarios, pedidos pendientes de recibir y emitir, etcétera, así como información emitida desde los talleres relacionada con la capacidad disponible en éstos, los tiempos actuales de proceso, estado de la producción en curso,

niveles de calidad y fiabilidad que se están logrando, etcétera. El módulo procesa este conjunto de valores y genera un conjunto de planes y programas en los que se detallan las tareas a realizar y el momento de la ejecución relacionadas con la fabricación, montaje y aprovisionamiento. Estos planes y programas son transmitidos a los talleres y almacenes en los cuales, tras la consulta de los datos de la ingeniería de proceso, dará comienzo la ejecución ordenada de las actividades.

El control de la actividad productiva no se realiza únicamente una vez elaborados los productos, sino que se va efectuando de forma continuada a partir de la información emanada de los talleres y almacenes; ésta es tan importante que puede llevar a cambiar programas maestros y planes de producción. Por tal motivo, los elementos de control y recogida de datos en tiempo real y on-line (conocidos como elementos I/O) de robots, máquinas herramientas y sistemas automatizados de transporte y almacenamiento de materiales son cada vez más sofisticados (8), buscando dotar al sistema de precisión y rapidez crecientes para agilizar

FIGURA 3
ELEMENTOS DE UN SISTEMA DE AUTOMATIZACION DE LA FABRICACION INTEGRADA (CIM) (*)



(*) Adaptado de DOMINGUEZ MACHUCA y OTROS (1995), página 351.

los reajustes ante cambios en las condiciones del entorno fabril o en la demanda de los productos.

LA INTEGRACION AUTOMATIZADA DE LA FABRICACION

No todas las empresas cuentan con todos los elementos aquí descritos ni, aun poseyéndolos, los utilizan de forma integrada informatizadamente. Así, algunas empresas cuentan con un módulo

MRP; pero no disponen de sistemas FMS, otras han implantado sistemas CAD y CAE y emplean algunas máquinas DNC, pero no han automatizado los almacenes, etcétera. Con ello, se reduce la probabilidad de obtener el amplio conjunto de ventajas señaladas a lo largo de nuestra exposición e incluso, en algunos casos, las ventajas de algunos de sus elementos neutralizan las de otros.

A continuación, abordaremos el proceso de integración de los dife-

rentes módulos descritos mediante un sistema informatizado interno y externo de comunicaciones para obtener un sistema CIM. El sistema integrado debe contar con una base de datos común para la organización y para la comunicación con el exterior, así como con diferentes elementos que faciliten el flujo de información como, por ejemplo, las conexiones entre los sistemas CAD y los de programación de máquinas herramientas CNC para intercambiar datos geométricos, sistemas para el inter-

cambio de datos geométricos entre los módulos de diseño y cálculo, conexiones para transferir datos entre el sistema CAD y la aplicación MRP (generación de listas de materiales, utilización de piezas en inventario...), elementos para conectar MRP II y CAM, etcétera.

Por otra parte, para alcanzar las máximas ventajas del uso común de la información es preciso contar con una base de datos diseñada a partir del esfuerzo desarrollado por la empresa para establecer estándares, reducir los tiempos y costes del procesamiento de la información, y la depuración de la calidad y eficiencia de los datos empleados. Este esfuerzo creará los cimientos desde los que se levantará una base de datos única para toda la empresa, completa y no redundante, precisa, correcta y actualizada, desarrollada sobre un formato común y a la que todo el personal de la organización pueda acceder.

Bedworth y otros (1991, 601) atribuyen a la integración que caracteriza a un sistema CIM la ventaja de lograr un menor tiempo en la introducción de nuevos productos en el mercado debido, entre otros factores, a la superior flexibilidad y capacidad de respuesta de la fábrica y su mayor productividad, ventaja que unida a los menores tiempos de entrega a clientes, el mejor servicio y la calidad superior de los productos, colocan a la empresa en una situación excepcionalmente favorable para lograr una ventaja competitiva sostenible.

La figura 3 representa esquemáticamente los distintos módulos que conforman el sistema CIM y los flujos de datos y materiales que se producen dentro de éste.

Como se desprende de la observación de esta figura, la actividad manufacturera no es contemplada, desde el enfoque aportado por



CIM, como una mera descripción de flujos físicos de materiales, piezas, productos en curso y productos terminados, sino que también se incorpora el complejo entramado de flujos de información que acompaña a tal actividad. Es más, el aspecto más importante del empleo de CIM radica no tanto en poder contar con toda la información, sino en la posibilidad de la utilización conjunta de ésta por todos los agentes involucrados, de modo que la persona adecuada acceda a los datos adecuados en el tiempo adecuado; la abundancia de datos presentes en un entorno productivo sólo puede manejarse con el concurso de las tecnologías de la información (IT), las cuales sólo pueden incorporarse en toda su extensión en el ámbito fabril cuando se emplea un sistema CIM.

CONCLUSIONES

A lo largo de este trabajo hemos tenido ocasión de considerar cómo la integración de las nuevas tecnologías de fabricación y los sistemas avanzados de gestión de la información, que da lugar a la aparición del sistema CIM, proporciona a las empresas manu-

reras la posibilidad de crear la plataforma para desarrollar una ventaja competitiva sostenible sobre la base de una mayor capacidad de respuesta eficiente y a tiempo ante las cambiantes condiciones del mercado.

Tras una descripción detenida pero sucinta, se han puesto de manifiesto tanto las ventajas individuales de los diferentes módulos que integran el sistema CIM, como las del propio sistema y se ha aludido a los distintos obstáculos (técnicos y organizativos) a la implantación y puesta en marcha de éste.

Igualmente, se ha señalado que la automatización integrada informáticamente no es necesariamente la mejor ni la única herramienta a disposición de las empresas, pues ha de ir acompañada de un conjunto de actuaciones previas y de la combinación adecuada de equipos y «software», factores que no siempre están presentes en todas las empresas.

La experiencia acumulada en la última década demuestra que no todos los proyectos de automatización han concluido con éxito, siendo la pobre gestión de la implanta-

ción y puesta en marcha la principal causa del fracaso; también pone de manifiesto que no siempre existe una justificación económica y/o técnica para automatizar e integrar todas las operaciones manufactureras. Sin embargo, los resultados adversos del pasado no deberían actuar como freno de futuros intentos, sino como elemento para el aprendizaje y la mejora; la automatización integrada informatizadamente contribuye especialmente al logro de la reducción de los costes de fabricación y, dentro de éstos, los que ofrecen un mayor potencial de disminución son los indirectos, razón por la cual el esfuerzo empresarial debería orientarse en esta dirección a fin de mantener su situación competitiva. Para ello será precisa e inexcusable la participación e involucración de la Alta Dirección, la cual deberá diseñar y generar las condiciones para que se cuente con los recursos adecuados (tiempo, dinero, motivación...), se respete y fortalezca la estrategia de la empresa y se equilibre el fuerte impacto multifuncional de las nuevas tecnologías de fabricación e información, se establezcan y mantengan las mejores relaciones posibles con los proveedores de las nuevas tecnologías y se empleen criterios actualizados (basados en variables tangibles e intangibles) para la valoración y justificación del conjunto de inversiones que haya que realizar.

Concluimos por tanto señalando que, en nuestra opinión, la actitud hacia el sistema CIM debe ser optimista a la par que prudente: la elección y el diseño de su posible implantación han de ser resultado de una detenida reflexión que tenga en cuenta tanto los factores vinculados a las exigencias del mercado como a las demandas organizativas, técnicas y económicas de las nuevas tecnologías y las posibilidades de la empresa.

* Investigación parcialmente financiada por los proyectos PB93-0233-DGCT y PB94-0372.

NOTAS

- (1) Un estudio detallado de éstos puede encontrarse en CARMONA y ALVAREZ (1994).
- (2) Durante la misma habrá de determinarse si se prefiere adquirir tecnología estándar o específica, atendiendo para ello a los requisitos demandados por el proceso de integración y a aspectos tales como coste, facilidad de la instalación, fiabilidad, mantenimiento, flexibilidad, etcétera.
- (3) Esto es, las características de las bases de datos a emplear y las condiciones de su acceso.
- (4) Véase, por ejemplo, DOMINGUEZ MACHUCA y OTROS (1995), páginas 325-367.
- (5) Para una caracterización más amplia de los distintos planes generados por el sistema CAPP, así como sobre los distintos lenguajes de programación (APT, CLDTA...), puede acudir a DOMINGUEZ MACHUCA y OTROS (1995), página 394.
- (6) No es menos cierto, no obstante, que en ocasiones las tecnologías que posee la empresa son las que condicionan la conveniencia de la posible automatización del diseño del producto y proceso. Así, cuando los equipos existentes no son capaces de intercambiar información con los sistemas expuestos más arriba, no merecerá la pena realizar un esfuerzo inversor y de cambio organizativo para adquirirlos e implantarlos. En este trabajo partiremos de la premisa de que es posible lograr tal comunicación, limitando el campo de estudio de la automatización integrada a aquellos equipos capaces de integrarse en la arquitectura informática del sistema productivo.
- (7) Un análisis más detallado de las ventajas e inconvenientes puede encontrarse en DOMINGUEZ MACHUCA y OTROS (1995), página 342.
- (8) Incluimos aquí elementos como las cintas magnéticas, los códigos de barras, sistemas de visión y de reconocimiento de voz, terminales de ordenador, interruptores, relays, controladores lógicos programables, etcétera.

BIBLIOGRAFIA

- ANDERSEN CONSULTING (1990): *La Fábrica del futuro*.
- BEDWORTH, D. D.; HENDERSON, M. R., y WOLFE, P. M. (1991): *Computer-Integrated Design and Manufacturing*, McGraw-Hill Inc.
- BESSANT, J. (1991): *Managing Advanced Manufacturing Technology*, NCC Blackwell.
- CARMONA, S., y ALVAREZ, M. J. (1994): «Automatización y sistemas de costes», en Amat J. y Amat O. (eds.), *La Contabilidad de Gestión actual: nuevos desarrollos*, Monografías AECA, páginas 213-259.
- DOMINGUEZ MACHUCA, J. A.; ALVAREZ, M. J.; GARCIA, S.; DOMINGUEZ, M. A., y RUIZ, A. (1995): *Dirección de Operaciones: Aspectos estratégicos en la producción y en los servicios*, McGraw-Hill Interamericana.
- GALBRAITH, J. K. (1994): *Un viaje por la economía de nuestro tiempo*, Ariel Sociedad Económica.
- HILL, T. (1991): *Production and Operations Management: Text and Cases*, Prentice Hall.
- JUAN, N.; MUÑOZ, S., y GARCIA DE LA CHICA, A. (1991): «Automatización del montaje en la PME», *Publicaciones del IMPI*, serie Tecnología, número 37.
- KRAJEWSKI, L. J., y RITZMAN, L. P. (1990): *Operations Management: Strategy and Analysis*, Addison Wesley.
- MARTINEZ, A. (1993): «La adopción de robots y sistemas de fabricación flexible en España», *Información Comercial Española, Boletín Económico*, número 2369, páginas 1347-1355.
- MIZE, J. H. y PALMER, G. (1989): «Some fundamentals of Integrated Manufacturing», *1989 Institute of Industrial Engineers Conference Proceedings*.
- PARRISH, D. (1993): *Flexible Manufacturing*, Butterworth-Heinemann Ltd.
- SCHONBERGER, R. J., y KNOD, E. M. (1991): *Operations Management: Improving Customer Service*, Irwin.
- VOSS, C. A. (1989): «Managing Manufacturing Technology», en Wild R. (ed.), *International Handbook of Production and Operations Management*, Cassell Educational Ltd., páginas 131-145.